

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die produzierende Industrie stellt mit 23 % der Bruttowertschöpfung den bedeutendsten Wirtschaftszweig in Deutschland dar¹. Vor allem im Bereich der Premium- und Hochtechnologieprodukte konnten deutsche Unternehmen sich und die Marke „Made in Germany“ in der Vergangenheit erfolgreich im internationalen Wettbewerb positionieren². Als Resultat werden heute 36 % der deutschen Wirtschaftsleistung exportiert³. Die produzierenden Unternehmen in den Exportmärkten sind jedoch in den vergangenen Jahren verstärkt zu direkten Wettbewerbern geworden. Kontinuierliche und signifikante Investitionen in Forschung und Entwicklung haben diese dazu befähigt, heute in Bezug auf die Produkte und den Produktionsprozess teilweise ähnlich hochwertige Leistungen anbieten zu können.⁴ Dabei sehen sich diese Schwellenländer zwar ebenfalls mit steigenden Lohnkosten konfrontiert, diese liegen jedoch immer noch deutlich unter vergleichbaren Werten in Hochlohnländern, wie Deutschland.⁵ In der Folge liegt Deutschland heute weltweit unter den 64 größten Volkswirtschaften nur auf Platz 15 der Wettbewerbsfähigkeit⁶.

Zur langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in dieser internationalen Marktumgebung stehen produzierende Unternehmen in Deutschland vor der Herausforderung innovative Produkte kosteneffizient zu produzieren. Eine Branche, die auf der einen Seite für die Beherrschung dieser Herausforderungen in der produzierenden Industrie eine besondere Position einnimmt und auf der anderen Seite selbst auf diese Herausforderungen reagieren muss, ist die Branche Werkzeugbau. Aufgrund ihrer Stellung an der Schnittstelle zwischen der Produktentwicklung und der Serienproduktion, nimmt die Branche Werkzeugbau wesentlichen Einfluss auf die Time-to-market, die Serienproduktionskosten sowie die Produktionsqualität der Serienproduktion.⁷ Gleichzeitig sieht sich die Branche einem intensiven internationalen Wettbewerb gegenüber. Dieser war zunächst wesentlich durch einen Kostendruck charakterisiert. Durch die Weiterentwicklung der Wettbewerber aus Niedriglohnländern ist erfolgt der Wettbewerb heute zusätzlich auch in den Bereichen Werkzeugqualität und Durchlaufzeiten.⁸

In den vergangenen Jahren konnten deutsche Werkzeugbaubetriebe durch eine kontinuierliche Industrialisierung die eigene Wettbewerbsfähigkeit trotz dieser Herausforderungen sicher-

¹ Vgl. Statistisches Bundesamt (Ergebnisse zur Wirtschaftsleistung), 2021.

² Vgl. Federowski; Pflanz (Hochtechnologie und Handwerkskunst), 2017, S. 11-12.

³ Vgl. Statistisches Bundesamt (Kennzahlen zur Außenwirtschaft), 2021.

⁴ Vgl. Lisowski (Das asiatische Jahrhundert), 2019, S. 35-45.

⁵ Vgl. International Labour Organization (Global Wage Report 2020-21), 2020, S. 31-50.

⁶ Vgl. IMD (World Competitiveness Ranking), 2021.

⁷ Vgl. Schuh et al. (Fokus Automobilindustrie), 2013, S. 1-5.

⁸ Vgl. Boos et al. (World of Tooling), 2018, S. 5.

stellen. Eine konsequente Produkt- und Prozessstandardisierung, effektive Planung und Steuerung sowie umfangreiche Fertigungsautomatisierung haben zu einer deutlichen Steigerung der Effektivität und Effizienz beigetragen.⁹ Aufgrund der inzwischen größtenteils vollständig umgesetzten Industrialisierung benötigt der Werkzeugbau nun jedoch neue Handlungsfelder, um auch zukünftig seine Effizienz weiter steigern und neue Differenzierungsmerkmale bilden zu können¹⁰. Boos hat dazu in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren vier Szenarien zur zukünftigen Gestaltung der Branche Werkzeugbau in Deutschland entwickelt, die in Abbildung 1.1 dargestellt sind.¹¹

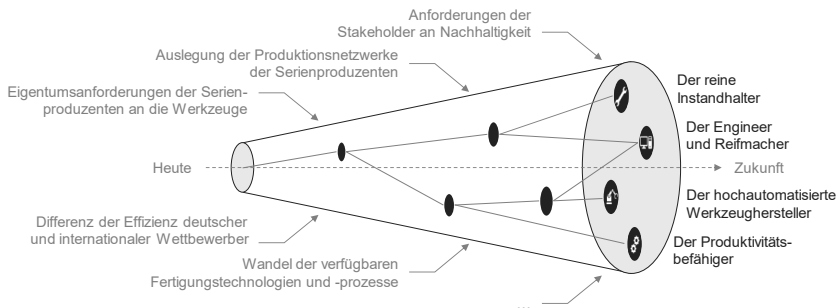


Abbildung 1.1: Szenarien zur Gestaltung der deutschen Branche Werkzeugbau im Jahr 2030¹²

Die vier Szenarien beschreiben unterschiedliche Gestaltungsoptionen der deutschen Branche Werkzeugbau in Zukunft. In Abhängigkeit verschiedener Einflussparameter und deren Entwicklung, postuliert Boos diese Szenarien in Rein- oder Mischform als Stereotyp eines deutschen Werkzeugbaubetriebs im Jahre 2030. Der *reine Instandhalter* beschreibt die vollständige Fokussierung auf die Wartung und Reparatur von Serienwerkzeugen. Die Erstellung von Neuwerkzeugen erfolgt in diesem Szenario aufgrund des Kostenvorteils und vergleichbarer Qualität vollständig in Osteuropa und Asien. Der *Engineer und Reifmacher* hat sich auf die Know-how-intensiven Prozessschritte der Werkzeugherstellung fokussiert. Die eigentliche Werkzeugfertigung erfolgt durch Partner in Niedriglohnländern. Der *hochautomatisierte Werkzeughersteller* bietet seinen Kunden weiterhin die gesamte Wertschöpfungskette der Werkzeugherstellung an. Durch umfassende Automatisierung in allen Prozessschritten, erfolgt dies jedoch mit einer signifikant gesteigerten Effizienz. Im vierten Szenario, dem *Produktivitätsbe-*

⁹ Vgl. Boos (Werkzeugbau 2030), 2021, S. 50.

¹⁰ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfähig durch Industrie 4.0), 2020, S. 40-41.

¹¹ Vgl. Boos et al. (Der Werkzeugbau der Zukunft), 2021, S. 38.

¹² I. A. a. Boos (Werkzeugbau 2030), 2021, S. 51.

fähiger, haben die deutschen Werkzeugbaubetriebe ihr Geschäftsmodell vollständig umgestellt. Anstelle des Werkzeugs als physischer Leistung wird dem Kunden die mit dem Werkzeug erbrachte Produktionsleistung verkauft.¹³

Wesentliche Gemeinsamkeit aller Szenarien ist die digitale Vernetzung als zentraler Befähiger¹⁴. Diese bildet die Grundlage, um in den vier Szenarien Potenziale von Industrie 4.0 realisieren und die internationale Wettbewerbsfähigkeit des jeweiligen Szenarios sicherstellen zu können. Grundsätzlich wird der Industrie 4.0 das Potenzial zugerechnet, Wertschöpfungsprozesse grundsätzlich zu verändern und vollständig neue Geschäftsmodelle zu befähigen. Wertschöpfungsseitig kann es sich dabei bspw. um die dynamische Gestaltung von Geschäfts- und Engineering-Prozessen handeln und angebotsseitig um die rentable Abbildung kundenindividueller Produktwünsche.¹⁵ Auf die Unternehmen der Branche Werkzeugbau bezogen, bedeutet dies, dass 92 % der Unternehmen eine Verkürzung der Durchlaufzeit erwarten und 83 % eine Produktivitätssteigerung¹⁶.

1.2 Problemstellung

Die Realisierung dieser Potenziale durch die Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen ist in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus der Werkzeugbaubetriebe in Deutschland gerückt. So geben 77 % der deutschen Werkzeugbaubetriebe an, bereits einzelne Anwendungen zur Digitalisierung zu verwenden¹⁷. Eine solche Aussage ermöglicht jedoch noch keine Bewertung, ob die prognostizierten Potenziale von Industrie 4.0 bereits realisiert werden konnten. Darüber hinaus fehlt solchen alleinstehenden Digitalisierungslösungen das Potenzial der Vernetzung. Für eine tendenzielle Bewertung der branchenweit bereits erfolgreich realisierten Potenziale soll die Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Branche Werkzeugbau in den etablierten Zielgrößen eines Projekts, Zeit, Kosten und Qualität, in den letzten Jahren betrachtet werden¹⁸. Basierend auf diesen drei Zielgrößen wurde aus dem etablierten Aachener Werkzeug- und Formenbau-Management-Modell (AWFM-Modell) jeweils eine korrespondierende Kennzahl zur Quantifizierung des Status quo abgeleitet. KOZIELSKI folgend ermöglicht die Struktur des AWFM-Modells einen Wettbewerbsvergleich und ist folglich geeignet, um die Leistungsfähigkeit der Branche zu quantifizieren¹⁹. Abbildung 1.2 zeigt für die drei Zielgrößen jeweils eine exemplarische Kennzahl mit ihrem Verlauf für die deutsche Branche von 2015 bis 2020. Die *normierte Durchlaufzeit in Tagen pro 1.000 € Auftragsvolumen* beschreibt die Geschwindigkeit der internen Wertschöpfung, indem das um die Material- und Fremdleistungskosten bereinigte Auftragsvolumen der Werkzeuge durch die jeweilige Durchlaufzeit dividiert wird.

¹³ Vgl. Boos (Werkzeugbau 2030), 2021, S. 51.

¹⁴ Vgl. Boos et al. (Der Werkzeugbau der Zukunft), 2021, S. 38.

¹⁵ Vgl. Kagermann et al. (Zukunftsprojekt Industrie 4.0), 2013, S. 5.

¹⁶ Vgl. Boos et al. (Auftragsabwicklung 4.0), 2020, S. 32.

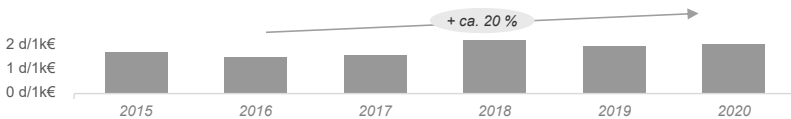
¹⁷ Vgl. Seul; Diehr (Digitalisierung im Werkzeug- und Formenbau), 2022, S. 32.

¹⁸ Vgl. Jakoby (Projektmanagement für Ingenieure), 2019, S. 85.

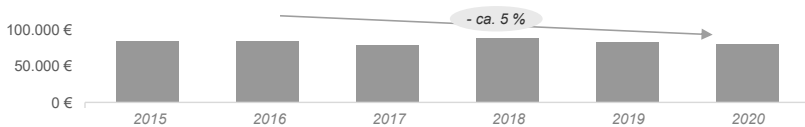
¹⁹ Vgl. Kozielski (Kennzahlensystem für den Werkzeugbau), 2013, S. 146.

Folglich dient diese Kennzahl als Indikator für die Zielgröße Zeit. Die Kennzahl Eigenkosten pro Mitarbeitendem als Indikator für die Zielgröße Kosten teilt die gesamten Eigenkosten eines Werkzeugbaubetriebs in einer Bilanzperiode durch die Anzahl an FTEs, die durchschnittlich während dieser Periode bestanden. Die Kenngröße Fehleridentifikation entlang der Prozesskette dient als Indikator für die Qualität. Dabei wird angenommen, dass ein verbessertes Qualitätsmanagement eine frühere Fehleridentifizierung und folglich eine Reduzierung der Fehlerkosten ermöglicht.

Normierte Durchlaufzeit in Tagen pro 1.000 € Auftragsvolumen [d/1.000 €] als Indikator für die Zeit



Eigenkosten pro Mitarbeitendem [€/MA] als Indikator für die Kosten



Fehleridentifikation entlang der Prozesskette [%] als Indikator für die Qualität

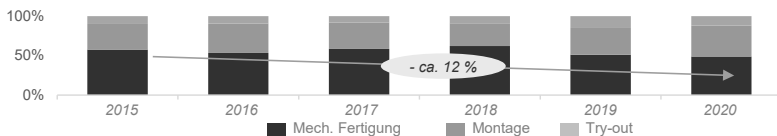


Abbildung 1.2: Entwicklung der Leistungsfähigkeit der deutschen Branche Werkzeugbau in den Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität²⁰

Für die Entwicklung der Leistungsfähigkeit in der Dimension Zeit ist empirisch zu beobachten, dass anstelle einer Reduzierung der normierten Durchlaufzeit, was einer Optimierung anspräche, in der Praxis eine Erhöhung um ca. 20 % feststellbar ist. Ceteris paribus, kann folglich angenommen werden, dass eine signifikante und branchenweite Realisierung von Industrie 4.0 Potenzialen zur Adressierung der Zielgröße Zeit im Werkzeugbau bisher nicht stattgefunden hat.

Die Eigenkosten pro Mitarbeitendem konnten zwar seit 2015 um ca. 5 % gesenkt werden, haben sich damit jedoch nicht signifikant reduziert. Daraus folgt, dass für die Zieldimension Kosten festgestellt werden kann, dass die Realisierung der Potenziale von Industrie 4.0 mindestens größtenteils noch nicht umgesetzt werden konnte.

Die Bewertung der Dimension Qualität erfolgt anhand der Verteilung der Fehleridentifikation entlang der Prozesskette. Es lässt sich feststellen, dass der Anteil der Fehler, der im ersten Schritt der Werkzeugherstellung, der mechanischen Fertigung, identifiziert wird, seit 2015 um

²⁰ Vgl. WZL/IPT (Benchmarkingdatenbank), 2020.

12 % gesunken ist. Theoretisch könnte diese Verschiebung auch durch eine als positiv zu bewertende Reduktion der absoluten Fehlermenge in der mechanischen Fertigung erklärt werden. Die kosten- und zeitrelevanten Fehler, die es in der mechanischen Fertigung, der Montage sowie dem Try-out zu identifizieren gilt, werden jedoch in der Werkzeugkonstruktion verursacht. Je später diese Fehler identifiziert werden, desto aufwändiger gestaltet sich deren Behebung. Im Hinblick darauf ist folglich allein ein nach vorne verschieben der Fehleridentifikation in der Prozesskette als positiv zu bewerten. Entsprechend kann auch für die Zielgröße Qualität angenommen werden, dass keine signifikante Optimierung stattgefunden hat und folglich keine Potenziale von Industrie 4.0 realisiert werden konnten.

Für die Identifizierung der zugrundeliegenden Ursachen der fehlenden Realisierung der Potenziale sei das generische Vorgehen zur Umsetzung einer datenbasierten Performancesteigerung definierter Zielgrößen betrachtet, wie es in Abbildung 1.3 in Anlehnung an WASER & STUECKA dargestellt ist.

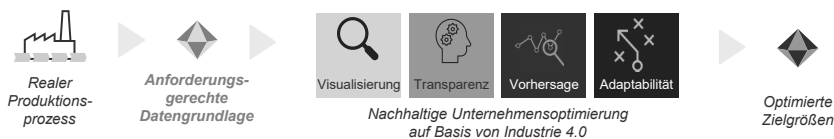


Abbildung 1.3: Vorgehen zur Realisierung einer datenbasierten Performancesteigerung²¹

Demzufolge basiert die Optimierung definierter Zielgrößen auf anwendungsfallspezifischen Industrie 4.0-Lösungen. Diese können nach SCHUH ET AL. in die vier Reifegradstufen Visualisierung, Transparenz, Vorhersage und Adaptabilität differenziert werden. Diese Anwendungsfelder erfordern eine Datenbasis, die den realen Produktionsprozess anforderungsgerecht abbildet. Betrachtet man diese Elemente hinsichtlich des in Kapitel 1.1 beschriebenen Status quo in der Praxis, zeigt sich, dass die Potenziale zur Optimierung der für den Werkzeugbau relevanten Zielgrößen durch verschiedene Prognosen hinlänglich bekannt sind. Mögliche Anwendungsfelder zur Realisierung dieser Potenziale sind ebenfalls detailliert verfügbar. Exemplarisch seien an dieser Stelle die Arbeiten von SCHULTES, STRACKE, SALMEN sowie BEGOVIC genannt²². Diese beschreiben mit konkreter methodischer Unterstützung für den Anwender die Entwicklung unternehmensindividueller Industrie 4.0-Lösungen in den Bereichen Lieferantenvernetzung, Serienanlauf, digitaler vernetzter Shopfloor sowie Wissensmanagement und Smart Services. Durch Nutzung des Ausschlussprinzips kann folglich eine fehlende anforderungsgerechte Datenbasis als Ursache für die bisher ausbleibende Realisierung der Potenziale von Industrie 4.0 in der deutschen Branche Werkzeugbau postuliert werden.

²¹ I. A. a. Waser; Stuecka (Mit Big Data zu neuen Einsichten), 2016, S. 50-51.

²² Vgl. Schultes (Digitale Lieferantenvernetzung im Werkzeugbau), 2020; Stracke (Vernetzter und synchronisierter Serienanlauf), 2021; Salmen (Digital vernetzter Shopfloor), 2016; Begovic (Datenbasiertes Wissensmanagement), 2018.

Nach BAUERNHANSL ET AL. bestehen für die Realisierung eines digitalen Schattens, vier relevante Handlungsfelder. Diese umfassen die Entwicklung einer Datenstruktur bzw. eines Datenmodells, die Realisierung der Potenziale multimodaler Datenaufnahme und -fusion sowie die Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung²³. Das erste dieser Felder, die Darstellung einer Datenstruktur, bzw. eines Datenmodells, ist bereits allgemeingültig für den Auftragsabwicklungsprozess von Werkzeugbaubetrieben entwickelt worden²⁴.

Folglich kann als konkrete Problemstellung festgehalten werden, dass Werkzeugbaubetriebe bisher nicht befähigt sind, ...

- ... das generische Datenmodell des Auftragsabwicklungsprozesses auf ihren individuellen Anwendungsfall anzupassen.
- ... die Anforderungen an die Aufnahme der im Datenmodell abgebildeten Daten anwendungsfallspezifisch zu formulieren.
- ... die Aufnahme der Datenattribute entsprechend den formulierten Anforderungen umzusetzen.

Diese Problemstellungen können als fehlende Befähigung der Werkzeugbaubetriebe zur Operationalisierung eines digitalen Schattens zusammengefasst werden. In Theorie und Praxis bestehen verschiedene Ansätze, die einzelne Aspekte der beschriebenen Problemstellung adressieren. Diese werden in Kapitel 3 detailliert beschrieben. Insbesondere vor dem Hintergrund der konkreten, praxisnahen Unterstützung der Unternehmen bei der Operationalisierung eines digitalen Schattens gehen diese Ansätze jedoch nicht weit genug. Ein Ansatz, der für die beschriebene Problemstellung eine vollständige Lösung für die Unternehmen der Branche Werkzeugbau bietet, soll mit dieser Arbeit entwickelt werden.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Diese Arbeit soll einen Lösungsansatz entwickeln, der Werkzeugbaubetrieben die Operationalisierung eines digitalen Schattens ermöglicht. Dies soll unabhängig von einem konkreten Anwendungsfall gestaltet sein. Ein digitaler Schatten ist obligatorisch für die erfolgreiche und vollständige Realisierung der Potenziale von Industrie 4.0. Folglich gilt es insbesondere für Werkzeugbaubetriebe in Hochlohnländern die Potenziale eines digitalen Schattens zu erschließen, um langfristig eine international wettbewerbsfähige Leistungserstellung vorweisen zu können.

Obwohl die Potenziale von Industrie 4.0 sowie die konkreten Anwendungsfälle für die Branche Werkzeugbau in der Theorie bereits hinreichend beschrieben sind, lässt sich eine signifikante Leistungssteigerung bisher in der Branche nicht feststellen. Der Grund dafür ist, dass bisher keine Lösungsansätze bestehen, die unter Berücksichtigung der werkzeugbauspezifischen Charakteristika der Einzel- und Kleinserienfertigung, die Erzeugung eines digitalen Schattens beschreiben.

²³ Vgl. Bauernhansl et al. (WGP-Standpunkt Industrie 4.0), 2016, S. 26-29.

²⁴ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell), 2020.

Die konkrete Zielsetzung dieser Dissertation ist die Entwicklung eines Vorgehens zur Operationalisierung eines digitalen Schattens in der Branche Werkzeugbau. Dieses Ziel soll vor dem Hintergrund der in der Praxis bestehenden Rahmenbedingungen des deutschen Werkzeugbaus verfolgt werden, um eine Umsetzung der Forschungsergebnisse in der industriellen Praxis zu gewährleisten. KUBICEK folgend ist für die effektive und effiziente Verfolgung der Zielsetzung eine grundlegende Forschungsfrage zu formulieren, die den Betrachtungsbereich dieser Arbeit eingrenzt²⁵. Die handlungsleitende Forschungsfrage dieser Dissertation lautet:

Wie muss ein repräsentatives Vorgehen zur Operationalisierung eines branchenspezifischen Datenstrukturmodells zu einem anwendungsindividuellen digitalen Schatten gestaltet sein?

In Kapitel 3.4 wird diese handlungsleitende Forschungsfrage durch weitere Teilforschungsfragen detailliert.

1.4 Forschungsansatz der Arbeit

Die Entwicklung und Darstellung des Forschungsansatzes dieser Arbeit ist an die am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen genutzte Vorgehensweise angelehnt. Diese basiert auf unterschiedlichen vorangegangenen Arbeiten, darunter die Dissertationen von KELZENBERG, SCHULTES, STRACKE und RITTSTIEG²⁶.

In Anlehnung an BINDER & KANTOWSKY stellt wissenschaftliche Forschung einen Prozess dar, der für den Forschenden selbst, aber auch für die Wissenschaftsgemeinde eine neue Wirklichkeit erschließt²⁷. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der mit einem solchen Forschungsprozess verbundene Erkenntnisgewinn aufgrund eines nicht näher begründbaren Wertesystems des Forschenden einen subjektiven Charakter aufweist²⁸. BINDER & KANTOWSKY fordern daher für eine intersubjektive (Be-)Greifbarkeit des Forschungsvorhabens eine Darstellung der grundsätzlichen Erkenntnisperspektive sowie der methodologischen Vorgehensweise²⁹.

Eine Beschreibung der grundsätzlichen Erkenntnisperspektive erfolgt auf Basis einer Einordnung dieser Arbeit in das Spektrum der Wissenschaften. Diese Arbeit folgt dabei dem Verständnis von ULRICH & HILL, welche die Wissenschaft, wie in Abbildung 1.4 dargestellt, in Formal- und Realwissenschaften unterteilen³⁰.

²⁵ Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 24-26.

²⁶ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell), 2020; Schultes (Digitale Lieferantenvernetzung im Werkzeugbau), 2020; Stracke (Vernetzter und synchronisierter Serienanlauf), 2021; Rittstieig (Ambidextre Organisation im Werkzeugbau), 2020.

²⁷ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 3.

²⁸ Vgl. Deutskens (Wertschöpfungskonfiguration), 2014, S. 7.

²⁹ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 3-4.

³⁰ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305.

Ziel der *Formalwissenschaften* ist die Konstruktion von Zeichensystemen, wie sie bspw. in der Philosophie, Logik und Mathematik erfolgt³¹. Wesentliches Charakteristikum des Forschungsvorgehens von Formalwissenschaften ist daher die Überprüfung von logischen und theoretischen Zusammenhängen, zur Validierung aufgestellter Hypothesen und erzielter Forschungsergebnisse³².

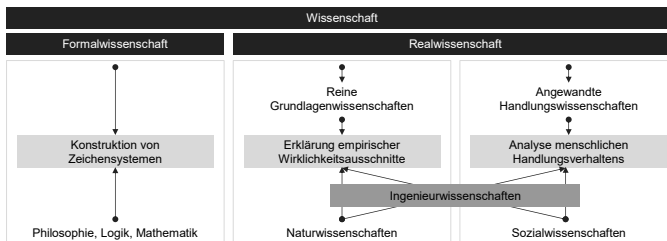


Abbildung 1.4: Wissenschaftssystematik³³

Im Gegensatz zu den Formalwissenschaften ist das Ziel der *Realwissenschaften* die Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte³⁴. Entsprechend basiert das Forschungsvorgehen auf einer synthetischen Orientierung, deren Ergebnis durch zusätzliche Faktenanalyse validiert werden kann³⁵. Innerhalb der Realwissenschaften differenzieren ULRICH & HILL zwischen reinen Grundlagenwissenschaften sowie angewandten Handlungswissenschaften. Reine Grundlagenwissenschaften, wie bspw. die Naturwissenschaften, formulieren theoretische Modelle zur Beschreibung der Wirklichkeit. Dahingegen analysieren Handlungswissenschaften, wie bspw. die Sozialwissenschaften, menschliche Handlungsalternativen, mit dem Ziel soziale und technische Systeme zu gestalten.³⁶

Die Ingenieurwissenschaften sind Teil der Realwissenschaften, können jedoch nicht grundsätzlich trennungsscharf den Grundlagen- oder Handlungswissenschaften zugeordnet werden³⁷. BINDER & KANTOWSKY zitieren ULRICH in seiner Differenzierung zwischen reinen Grundlagenwissenschaften und angewandten Handlungswissenschaften dahingehend, dass Erstere bestehende Wirklichkeiten beobachten und mit Theorien beschreiben, wohingegen Zweitere neue Wirklichkeiten entwerfen und den Nutzen dieser Entwürfe für die Praxis in den Fokus stellen³⁸. Folglich kann diese Arbeit aufgrund ihres hohen Bezugs zur unternehmerischen Praxis sowie der methodischen Unterstützung des Anwenders in seinem Handeln eindeutig den Handlungswissenschaften zugeordnet werden.

³¹ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305.

³² Vgl. Schanz (Führungsforschung), 1987, S. 2039.

³³ I. A. a. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305.

³⁴ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305.

³⁵ Vgl. Schanz (Führungsforschung), 1987, S. 2039.

³⁶ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305.

³⁷ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell), 2020, S. 7.

³⁸ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 9.

Die abschließende Definition der grundlegenden Erkenntnisperspektive bedarf der Darstellung der Überzeugungen des Forschers als Teil des Vorverständnisses dieser Arbeit³⁹. Diese setzen sich aus den vorwissenschaftlichen sowie den wertgebundenen Annahmen des Forschers zusammen und sind nicht zu beweisen oder empirisch zu untersuchen. Die Darstellung ist erforderlich, um das Subjektivitätskriterium wissenschaftlicher Arbeiten überwinden zu können.⁴⁰ In der Wissenschaftstheorie kann eine solche Darstellung nach dem faktorentheoretischen Ansatz nach GUTENBERG, dem systemtheoretischen Ansatz nach ULRICH sowie nach dem entscheidungstheoretischen Ansatz nach HEINEN erfolgen⁴¹. Die interdisziplinäre Betrachtung der Unternehmen als „produktive soziale Systeme“ sowie die gleichzeitig vorliegende hohe Praxisrelevanz, resultieren in einer Auswahl des systemtheoretischen Ansatzes nach ULRICH als grundlegende Wissenschaftstheorie für diese Arbeit⁴².

Ferner bedarf es neben der Betrachtung der grundsätzlichen Ergebnisperspektive der Definition der *Forschungsmethodologie* dieser Arbeit. Die Forschungsmethodologie beschreibt die Art und Weise der Erkenntnisgewinnung während des Forschungsprozesses. Dabei wird ein solcher stets von einem Problem initiiert, anstatt durch die Beobachtung von Daten oder Tatsachen⁴³. Solche Probleme werden, der dargelegten Differenzierung von Grundlagen- und Handlungswissenschaften folgend, durch die anwendungsorientierten Handlungswissenschaften adressiert. Abgeleitet aus der bereits erfolgten Einordnung dieser Arbeit in die angewandten Handlungswissenschaften sowie der Wahl des systemtheoretischen Ansatzes nach ULRICH, wird für diese Arbeit die explorative Forschung als forschungsmethodischer Ansatz gewählt. Das damit verbundene Vorgehen ist Abbildung 1.5 dargestellt.

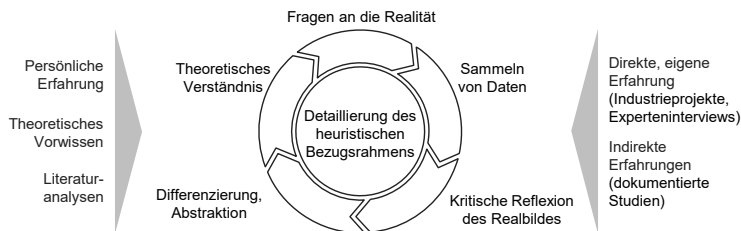


Abbildung 1.5: Forschungsmethodisches Vorgehen⁴⁴

Nach KUBICEK ist das Vorgehen explorativer Forschung durch einen iterativen Prozess zu beschreiben, der auf systematischem Erfahrungswissen aufbaut. Dabei werden gewonnene Erkenntnisse verarbeitet und in die Fragestellung zurückgeführt, sodass neue Erkenntnisse der

³⁹ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell), 2020, S. 7.

⁴⁰ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 306.

⁴¹ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 307-309.

⁴² Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 308-309.

⁴³ Vgl. Popper (Logik der Sozialwissenschaften), 1962, S. 234.

⁴⁴ Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 14; Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 84; Komorek (Kollaborative Wertschöpfung), 2014, S. 6.

Realität und neue Fraggstellungen generiert werden. Folglich entsteht ein Regelkreis, der Abfrage und Überprüfung von Theorie und Erfahrungswissen ermöglicht.⁴⁵

Den Mittelpunkt des forschungsmethodischen Vorgehens bildet der heuristische Bezugsrahmen als leitende Funktion innerhalb des Forschungsprozesses. Dabei bildet der Bezugsrahmen das Vorverständnis des Autors hinsichtlich der relevanten Analyseelemente sowie deren Beziehung ab.⁴⁶ Folglich beschreibt der heuristische Bezugsrahmen nach TOMCZAK ein „Problem bzw. ein generelles Phänomen, das nicht genügend verstanden bzw. unzureichend beherrscht wird“⁴⁷. Aufbauend auf der in Kapitel 1.2 beschriebenen Problemstellung, beschreibt Abbildung 1.6 den heuristischen Bezugsrahmen dieser Arbeit.

Der Leistungserstellungsprozess von Werkzeugbaubetrieben stellt den Betrachtungsbereich dieser Arbeit dar. Aufgrund des kompetitiver gewordenen Wettbewerbs durch eine gesteigerte Leistungsfähigkeit internationaler Wettbewerber müssen Unternehmen aus Hochlohnländer zukünftig ihre eigene Effizienz und Effektivität weiter steigern. Da die Potenziale der Industrialisierung und des klassischen Lean Managements in einer Vielzahl der Betriebe realisiert worden sind, müssen zukünftig verstärkt die Potenziale von Industrie 4.0 operationalisiert werden. Hierzu bedarf es eines digitalen Schattens, der die Datengrundlage für die anwendungsfallspezifische Realisierung von Industrie 4.0-Potenzialen darstellt. Bei der Aufnahme, der im digitalen Schatten abgebildeten Daten, gilt es, die anwendungsfallspezifischen Datenanforderungen vor dem Hintergrund der Charakteristika des Leistungserstellungsprozesses der Branche Werkzeugbau zu berücksichtigen. Dies führt zu einer Methodik, die ein Vorgehen zur Operationalisierung digitalen Schatten im Werkzeugbau beschreibt.



Abbildung 1.6: Heuristischer Bezugsrahmen⁴⁸

Zusätzlich zum theoretischen Verständnis basieren die Ergebnisse dieser Arbeit auf dem umfangreichen praktischen Erfahrungswissen des Autors im Themengebiet des digitalen Schattens im Werkzeugbau. Dieses Wissen wurde wesentlich im Rahmen der Tätigkeit als wissen-

⁴⁵ Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 13-14.

⁴⁶ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

⁴⁷ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

⁴⁸ Eigene Darstellung; i.A.a. die Beschreibung von Merkmalen heuristischer Bezugsrahmen nach KUBICEK. Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 17-20.

schaftlicher Mitarbeiter am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen durch die Leitung zahlreicher Industrie- und Forschungsprojekte sowie Lehr- und Weiterbildungsveranstaltungen erworben. Darüber hinaus wurde in einem Konsortialprojekt der WBA Aachener Werkzeugbauakademie GmbH mit fünf teilnehmenden Unternehmen intensiv über die Herausforderungen für Unternehmen der Branche Werkzeugbau bei der Nutzung von Daten zur Steigerung der Leistungsfähigkeit diskutiert und die Praxisrelevanz der eingeführten Problemstellung bestätigt⁴⁹.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorgelegte Arbeit basiert auf dem Ergebnis explorativer Forschung. Entsprechend richtet sich der Aufbau dieser Arbeit am Forschungsprozess für angewandte Forschung nach ULRICH aus⁵⁰. Der Forschungsprozess fordert für in der Praxis identifizierte Probleme, die analytische Ableitung entsprechender Modelle und Regeln zur Beschreibung eines allgemeingültigen Lösungsansatzes. Ein solcher Ansatz ist abschließend im Anwendungskontext zu validieren.⁵¹ Abbildung 1.7 zeigt den daraus abgeleiteten Aufbau der Arbeit. Auf eine Erläuterung der bereits erfolgten Einleitung in Kapitel 1 wird nachfolgend verzichtet.



Abbildung 1.7: Aufbau der Arbeit im Kontext der Phasen angewandter Forschung nach ULRICH⁵²

⁴⁹ Vgl. WBA (Datenbasierte Performancesteigerung), 2020.

⁵⁰ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1976, S. 305-308.

⁵¹ Vgl. Ulrich (Management), 1984, S. 193.

⁵² I. A. a. Ulrich (Management), 1984, S. 193.

In *Kapitel 2* werden die relevanten Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs präsentiert. Dazu wird zunächst das Datenmanagement mit seinen verschiedenen relevanten Teilaspekten eingeführt. Darauf aufbauend erfolgt die Schaffung eines einheitlichen Begriffsverständnisses von Industrie 4.0 sowie eine Erläuterung der damit verbundenen technologischen Befähiger. Zur Charakterisierung des Betrachtungsbereichs dieser Arbeit wird die Branche Werkzeugbau mit ihren Charakteristika und Herausforderungen beschrieben. Aus einer Gegenüberstellung der theoretischen Grundlagen des Gestaltungsbereichs dieser Arbeit mit dem praktischen Implementierungsgrad im Betrachtungsbereich kann abschließend der Handlungsbedarf aus der Praxis abgeleitet werden.

Aufbauend auf dem identifizierten Praxisdefizit werden in *Kapitel 3* in der Literatur bestehende Ansätze analysiert und bewertet. Hierfür werden zunächst ein Bewertungssystem sowie Anforderungen an einen Ansatz zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage entwickelt. Anschließend werden bestehende Ansätze erläutert und das Bewertungssystem mit seinen Anforderungen wird auf diese angewendet. Dies führt zur Darstellung eines aktuell bestehenden Theoriedefizits und zur Formulierung detaillierterer Teilforschungsfragen dieser Arbeit.

In *Kapitel 4* wird auf Basis des Praxis- und Theoriedefizits ein Ordnungsrahmen präsentiert, aus dem die einzelnen Schritte der Methodik zur Operationalisierung eines digitalen Schattens im Werkzeugbau hergeleitet werden. Diese Schritte werden mit ihren jeweiligen Zielsetzungen beschrieben und zu einer Gesamtmethodik aggregiert. Abschließend erfolgt eine kritische Reflexion der hergeleiteten Methodik hinsichtlich der formulierten Anforderungen an einen Lösungsansatz.

Die hergeleiteten Methodikschritte werden in *Kapitel 5* detailliert. Hierzu bedarf es einer konkreten Beschreibung der jeweiligen Ergebnisse der Methodikschritte. Außerdem sind dem Anwender zur Generierung dieser Ergebnisse anforderungsgerechte Modelle und Methoden bereitzustellen und die jeweiligen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zu beschreiben.

Im Rahmen von *Kapitel 6* erfolgt die Validierung der erarbeiteten Methodik anhand von zwei Fallbeispielen. Dabei wird zunächst die jeweilige Ausgangssituation der Unternehmen beschrieben und darauf aufbauend die Anwendung von (Teil-)Schritten der Methodik sowie der damit verbundenen Ergebnisse. Dies ermöglicht eine kritische Reflexion, indem die Erfüllung der erarbeiteten Anforderungen durch die Methodik geprüft wird.

Im abschließenden *Kapitel 7* werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und die formulierte Forschungsfrage abschließend beantwortet. Darüber hinaus wird das erzielte Forschungsergebnis kritisch reflektiert und auf dieser Basis werden weitergehende Forschungsansätze abgeleitet.